

藻場（リシリコンブ）のリモートセンシングによる分布域の推定—網走港周辺海域—

ESTIMATION OF THE DISTRIBUTION AREA OF ALGAE ZONES(RISHIRI KELP) BY REMOTE SENSING —AREA AROUND ABASHIRI PORT —

楠山哲弘¹・高木哲夫²・林誉命³・黄金崎清人⁴・袖野宏樹⁵・鳴海日出人⁶
Tetuhiko KUSUYAMA, Tetuo TAKAGI, Takanori, HAYASHI, Kiyoto KOGANEZAKI, Hiroki SODENO and Hideto NARUMI

¹北海道開発局 網走開発建設部 網走港湾事務所（〒093-0032 北海道網走市港町3）

²北海道開発局 網走開発建設部 網走港湾事務所（〒093-0032 北海道網走市港町3）

³北海道開発局 網走開発建設部 網走港湾事務所（〒093-0032 北海道網走市港町3）

⁴日本データサービス株式会社（〒065-0016 北海道札幌市東区北16条東19丁目1-14）

⁵日本データサービス株式会社（〒065-0016 北海道札幌市東区北16条東19丁目1-14）

⁶正会員 博士（水産科学）日本データサービス株式会社（〒065-0016 北海道札幌市東区北16条東19丁目1-14）

When a new breakwater was constructed in Abashiri Port, there was a strong demand from local fishermen to preserve the coastal environment, including marine organisms.

The impact of the new environmentally-friendly breakwater on the surrounding environment has been studied mainly through the surveying of algae zones by divers. It is, however, difficult to clarify the wide-area distribution by such a survey method, although it is possible to obtain spot and linear information. The conventional method also involves considerable time and financial burden.

To solve these problems, the validity of analysis results was examined in this study by comparing aerial and satellite images with the result of the survey of algae zone distribution by divers. As a result, the distribution of algae zones (Rishiri kelp) formed in shallow waters was found to be almost identical among these analysis results, and it was possible to quantify the distribution accurately by satellite images.

Key Words : Remote sensing, satellite image, aerial image, algae zone

1. はじめに

網走港では防波堤を新設する際、地元漁業者から、水産生物をはじめとする沿岸環境を保全することを強く要請された。

新設された環境共生型防波堤が周辺環境へ与える影響を把握するため、潜水による藻場の分布調査を中心に行っている。しかし、このような調査方法ではスポット、線的な情報を得ることはできるが、広域的な分布状況を得ることは困難であり、従来の手法では時間的・金銭的な負担が大きい¹⁾。

近年、比較的安価で購入可能となった高解像度の人工衛星画像と既存の航空写真を利用して藻場の形成領域や変動に関する研究が行われている²⁾。また、北海道における衛星画像を利用した藻場の形成領域を推定した事例は日本海で多く、オホーツク海では濁り等の影響から検討した例はあまりない。

本研究では、これらの課題を解決すべく、航空画像および衛星画像と潜水による藻場の分布調査を比較して解析結果の妥当性について検討を行った。さら

に、ウニと流速の関係について分析し、衛星画像解析の結果と面的に比較し、藻場の形成領域の推定を行ったものである。

2. 調査日程および方法

(1) 調査および撮影年月

衛星画像を解析するにあたり、調査月が明確な藻場分布データと近接に撮影された衛星画像の比較・検証が必要である。

調査および撮影年月を表-1に示す。

現地調査は、リシリコンブの最繁茂期と考えられる7月に実施した。また、解析する画像は、現地調査月に近接して撮影された画像を入手した。

表-1 調査および撮影年月

		調査および撮影年月
現地調査		平成14年7月
		平成15年7月
画像解析	航空画像	平成12年9月
	衛星画像	平成15年6月

(2) 調査および画像解析手法

a) 現地調査

網走港南外防波堤の建設計画地周辺は、リシリコンブを主体とする藻場が形成されている。このため、防波堤建設前および建設中に潜水による藻場の分布調査を実施し、周辺環境へ与える影響を把握している。

藻場調査位置（2 測線）を図-1 に示す。

藻場調査は、陸上基点から沖合の直線上（海底面）500m の地点に、距離目盛り付きのロープを設置して、潜士によりライン両側 1m の範囲に生育している植物（海藻類）および生息している動物（視認可能な付着性動物）の種類、被覆率（被度%）あるいは出現個体数について目視観察（5m ピッチ）および水中ビデオ撮影を行った。

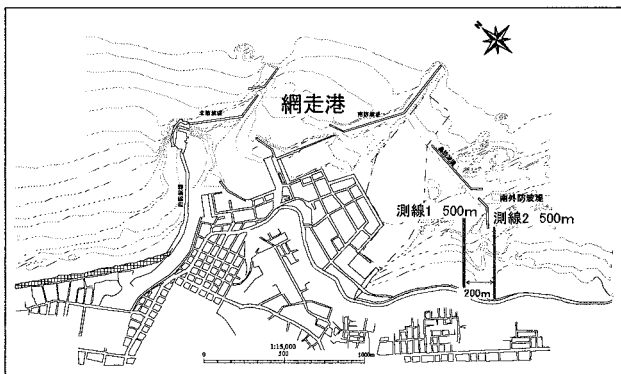


図-1 藻場調査位置

b) 航空画像解析手法

航空画像は、肉眼でみた色調が再現可能なため、多くの情報が得られる。用途によって高精度での数値情報を得るためには幾何補正が必要となる。特に、斜め写真を補正する場合には費用が高額となる。

本検討では、無補正の状態においてある程度ゆがみが小さくなると考えられる垂直写真を使用し、藻場の形成領域の特定について検討を行うこととした。

条件に合致した航空画像（平成 12 年 9 月 22 日撮影）を図-2 に示す。



図-2 藻場領域の推定に用いた航空画像

解析対象とする航空画像は、以下の条件により絞り込みを行い、スキャナーにより電子化を行った。①垂直写真であること。②網走港の南外防波堤より南側に広がる部分の岩礁帯が撮影されていること。③比較的海藻が現存していると考えられる時期（4～9月）に撮影されたもの。

航空画像では、海岸付近に岩礁と推定される黒色部分が肉眼でもみられる。その中でもより黒色の領域がコンブを主体とした大型褐藻類が生育している部分と考えられる。しかし、類似色が周辺に広がっていることから、この状態では藻場の領域を特定することは困難であり、以下の画像処理が必要となった。

なお、フィルムの入手が困難であったことから、画像は印画紙から処理をした。

画像の色は基本色である RGB（赤・緑・青）で構成されており、それぞれの色の波長の反射量で発色が決まる。波長の長い R（赤）は水中では吸収されやすく、海底では届きにくい。これに対して、波長の短い B（青）は水中でも透過性が強く、海底から反射する。海域の写真で青色が際立つのはこの現象によるものである。また、植物の緑葉は青領域と赤領域の波長を吸収し、近赤外線領域の波長を強く反射することが知られている。

以上より、画像を RGB に分解し、岩礁部分の判別が明確にできた G（緑）バンドから藻場の領域を推定した。

c) 衛星画像解析手法

使用した衛星画像は、QuickBirdで過去に撮影された画像の中から、当該エリアの最新の画像を検索した結果、2003年6月の画像が最新のデータであったため、本解析に使用した。

QuickBird衛星センサの基本スペックを表-2に、緒元を表-3に示す。

この衛星は、人間の目や一般的なカラー航空画像では捉えられない近赤外の波長を観測することが可能である。一般に、光合成植物は可視光を吸収し近赤外を強く反射する性質がある。陸域の植生は、この特性を利用し観測が行われてきた。このことから、光合成を行う藻類についても、この特性を利用することから藻場を推定した。

QuickBird衛星のパンクロマティック（白黒）画像は解像度が最高で0.6mである。一方、可視光や近赤外の波長帯をそれぞれ観測する4つの波長帯（バンド）は、パンクロマティック画像より解像度は低く約4mである。

表-2 QuickBird衛星センサの基本スペック

観測波長域	パンクロマティック		0.45-0.90 μm
	マルチスペクトラル	青(バンド1)	0.45-0.52 μm
		緑(バンド2)	0.52-0.63 μm
		赤(バンド3)	0.63-0.692 μm
		近赤外(バンド4)	0.76-0.90 μm
空間分解能	パンクロマティック		0.6m
	マルチスペクトラル		2.44m

使用した衛星画像は、パンクロマテック画像とマルチスペクトル画像を組合せ、擬似的にマルチスペクトル画像の解像度としたパンシャープン画像（分解能0.6m）である。

表-3 QuickBird衛星画像の諸元

撮影場所	網走
撮影日	2003年6月5日
撮影時刻(世界標準時)	1:07:13
分解能	0.6m
ダイナミックレンジ	8bit

図-3に示した衛星画像は、人間の見た目と同じように合成した画像（トゥルーカラー合成画像）であり、近赤外の波長（以下、バンド4）は使用されていない。

はじめにバンド4を使ったカラー合成画像を作成し、藻場の判別の可能性について検討を行った。次に、陸上の植生をできるだけ含めないように、枠内で画像を切り出し、画素値を元にストレッチ処理を行った。このような処理を施すことで僅かな画素値の違いの識別が容易となる。

なお、藻場を識別するためのカラー合成画像として、近赤外（バンド4）の反射が強いほど赤の発色が強まるように合成を行った。このようなカラー合成画像をフォルスカラー合成画像と呼ぶ。他の緑と青については、それぞれバンド2（緑）、1（青）を割り当てた。

フォルスカラー合成画像を図-4に示す。

四角い枠で囲んだ箇所を拡大すると（右図）、近赤外の反射が強い部分が視認可能となり、藻場であると判断できる。

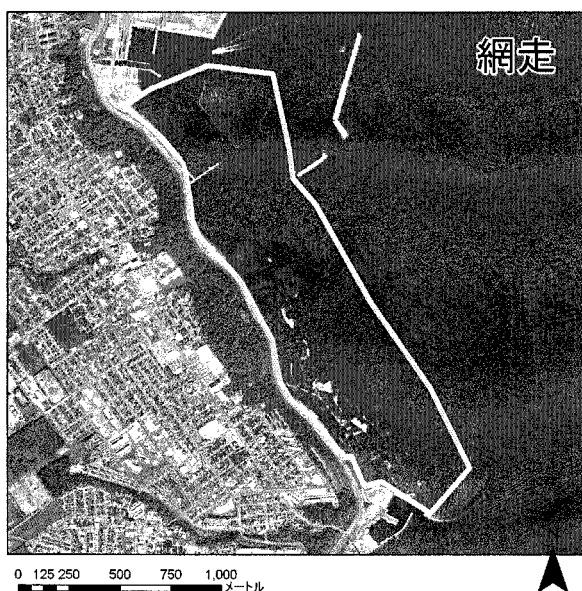


図-3 トゥルーカラー合成画像（枠内が対象領域）

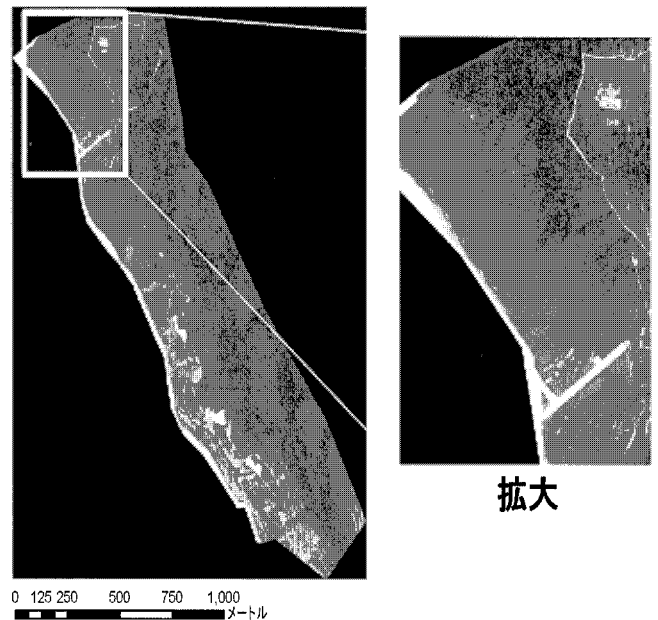


図-4 近赤外を用いたカラー合成画像

衛星画像を用いて対象とする画像の分類を行う場合の手法は、大きく二つに大別される。それは、①教師なし分類、②教師付き分類である。前者は、統計的に分類する手法であり、ISODATA 法が代表的な分類手法である。後者は、分類前にサンプルとしてトレーニングデータ（撮影対象物の色調を学習させる機能）を用いる分類手法のことである³⁾。

衛星画像を用いた藻場の抽出では、平成 15 年 9 月に実施した藻場の分布調査によって調査測線上でリシリコンブが生育している位置が判明していることから、これをサンプルとしたトレーニングデータを作成し、教師付き分類の最尤法（さいゆうほう）を用いて土地被覆分類を行った。そして、藻場として分類された画素を示すことで、藻場の形成領域が抽出されたこととした。

最尤法は確実に答えが得られることや、単純なことから、最も使われることが多い手法であるが、トレーニングの選定方法が重要である。

本検討では、土地被覆分類を水域、砂地、コンクリート、藻場の 4 つに分類し、目視にてトレーニングの領域を決定した。

なお、画像データの適用にあたり、ノイズ除去のため 3×3 の多数決フィルタを 1 度施した。このフィルタは対象画素を、そこを中心とする特定範囲（窓）内の最頻カテゴリーとする演算処理である。

3. 現地調査結果

目視観察結果をとりまとめ、主な海草・藻類の分布状況を図-5(1), (2)に示す。

各測線上でリシリコンブを主体とした藻場が形成されている。

調査測線上においての藻場形成種は、リシリコンブ、ホンダワラ属およびスガモが出現した。

各年度において、リシリコンブの生育がみられた沖だし距離を整理し、表-4 に示す。各測線ともリシリコンブの生育がみられた沖だし距離に大きな差はみられない。

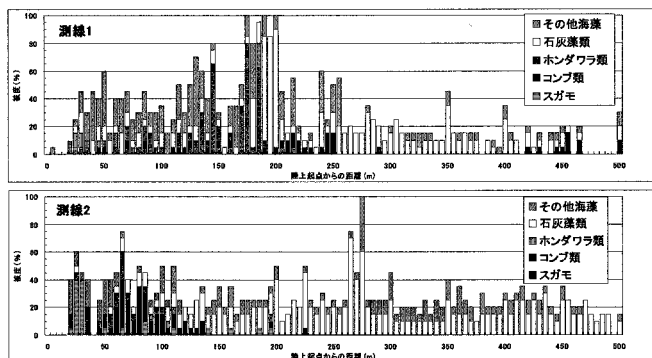


図-5(1) 目視観察結果【平成 14 年 7 月調査】

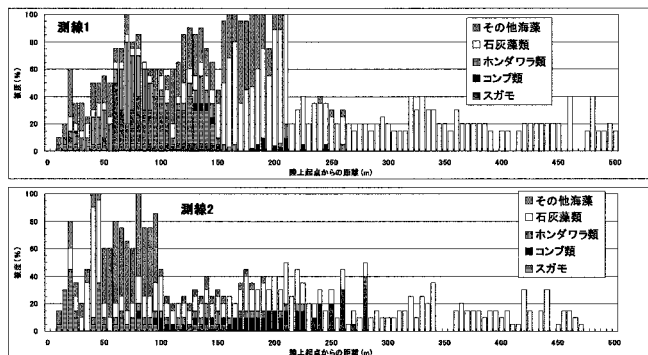


図-5(2) 目視観察結果【平成 15 年 7 月調査】

表-4 リシリコンブの生育がみられた沖だし距離

	平成14年7月	平成15年7月
測線1	約250m	約245m
測線2	約225m	約225m

4. 画像解析結果

(1) 航空画像解析結果

図-6 は航空画像から藻場を推定した結果であり、上図はカラー航空画像、下図は G (緑) のバンドのみを抽出したものである。藻場と推定された面積を計算した結果、0.116k m²の藻場を確認した。

また、藻場調査の測線を黒い太線で示してある。ただし、解析した航空画像の撮影年には、藻場調査は実施していないため、最も時期に近い平成 14 年度の調査結果と比較した。航空画像で推定した藻場形成範囲は調査測線上でリシリコンブが確認された沖だし

距離（測線 1 は約 250m、測線 2 は約 225m）とほぼ一致した。

したがって、航空画像そのものから判断するよりも、RGB のバンドに分解することで、藻場の形成範囲を推定することができる。

しかし、航空画像の状況によっては、この判別が明確でなくなることが考えられる。つまり、画像に陸上植物や構造物により岩礁部に生じた陰や海水の透明度、写真の色合いによって、識別の結果は大きく左右されることから、新たな手法が必要である。

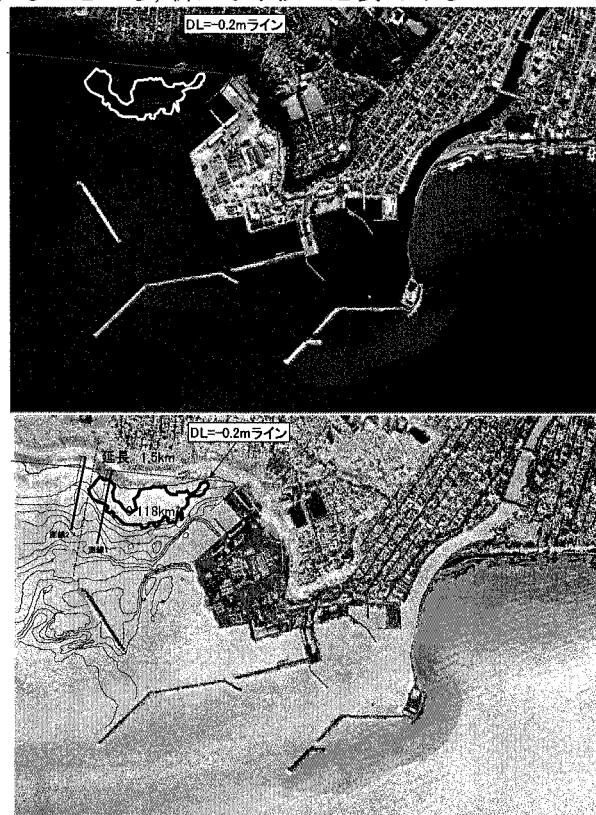


図-6 航空画像からの藻場推定

(2) 衛星画像解析結果

衛星画像による藻場の抽出結果を図-7に示す。

衛星画像は雲の陰や波の影響がないため、浅海域（約3m以浅）の藻場（濃い部分）については明瞭に判別でき、藻場の分布域を定量化（面積計算）した結果、図中枠内の抽出エリアで0.11km²の藻場面積を算出することができた。

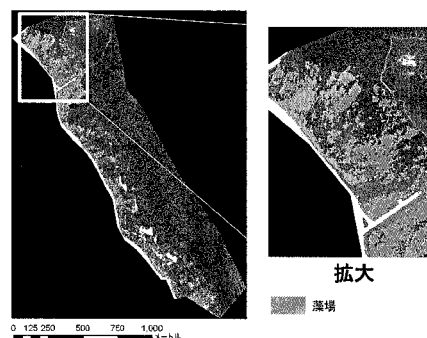


図-7 藻場の抽出結果

5. 現地調査結果と画像解析による藻場抽出結果の検証

(1) 現地調査結果との照合

衛星画像解析の結果を現地調査結果と照合し、解析結果の妥当性について検討を行った。

衛星画像による藻場の抽出結果と平成15年度の藻場調査の測線を重ね図-8に示す。

この結果、藻場の形成領域と調査測線上のリシリコンブを主体とする藻場の沖だし距離（測線1は約245m、測線2は約225m）は概ね一致している。

以上のことから、浅海域に形成されている藻場（リシリコンブ）については、先述のとおり、分布域が概ね一致しており、衛星画像による分布域の定量化については精度良く把握することが可能である。

ただし、近赤外の波長は、水中では可視光よりも吸収される度合いが大きいため、海中深くに形成される藻場については、抽出が困難となる。

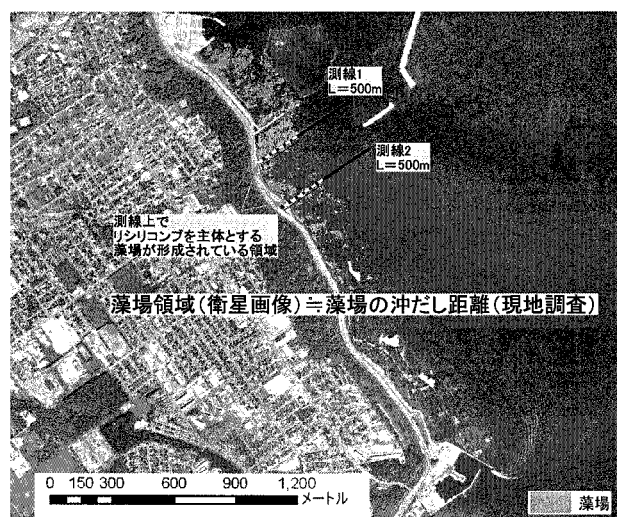


図-8 藻場の抽出結果と現地調査結果

(2) 衛星画像による藻場抽出と底面軌道流速

ウニと流速の関係について分析し、衛星画像解析の結果を面的に比較し、検討を行った。

ウニと流れの関係については、キタムラサキウニは25cm/s以上の流速が生じると摂餌行動が激減し⁴⁾、エゾバフンウニの稚ウニは流速20cm/sで待避行動を起こす⁵⁾ことが報告されている。

また、“食害によるコンブ場の消失が生じていない場所”では、藻場形成の最盛期である春季を基準として、摂餌限界流速（25cm/s）の累加出現率は30～40%以下である⁶⁾との報告もある。

これらの報告から、20～25cm/s以上の流速の出現とウニ類の食圧による藻場の消失には密接な関係があることがわかる。

衛星画像から藻場を抽出した結果と平成15年度の波浪観測中の代表波浪（H1/3：1.49m、T1/3：8s、波向：NE）に対する底面軌道流速の計算結果を重ねて図-9に示す。

衛星画像から推定された藻場の領域は、計算から求められた底面軌道流速がウニの摂餌限界流速である25cm/sを超える部分に分布する結果が示された。

以上のことから、衛星画像による藻場の抽出と底面軌道流速を合成することで、沿岸域に形成される藻場領域を把握できるものと推察された。

ただし、ウニの食圧と藻場繁茂には、流速の出現頻度が影響していると考えられることから、今後の検証においては、流速出現頻度を考慮することが重要となる。



図-9 藻場の抽出結果と底面軌道流速

6. 結論

航空画像および衛星画像による藻場分布把握を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 航空画像そのものから判断するよりも、RGB のバンドに分解することで、藻場の形成範囲を推定した。しかし、画像の状況によっては、判別が明確でなくなることが考えられる。
- (2) 衛星画像のフォルスカラー画像から藻場の判定が可能であり、浅海域におけるリシリコンブの分布域を算出した。
- (3) 衛星画像による藻場抽出と底面軌道流速を合成することで、沿岸域に形成される藻場の分布域を把握できるものと推察された。

—今後の課題—

- (1) 衛星画像からは海中深くに形成された藻場分布域を定量化することが困難であるため、海域毎の水深帯や濁りの条件別に定量化手法の検討が必要となる。
- (2) 港の周辺に藻場があり防波堤等の構造物を建設する場合、事前に藻場の状況を把握し、簡易な現地調査と衛星画像解析により、影響予測評価が可能かを検証する必要がある。

参考文献

- 1) (独) 水産総合研究センター水産工学研究所；平成 15 年度水産工学関係試験研究推進会議水産基盤部会報告書「藻場分布把握のための調査技術の現状と課題」。
- 2) 赤池章一・津田藤典・大崎正二・吾妻行雄；北海道積丹半島西海岸における航空写真を用いた藻場変動把握，平成 9 年度日本水産学会春季大会講演要旨集，98 (1997)。
- 3) 日本リモートセンシング研究会；改訂版図解リモートセンシング，210。
- 4) 川俣茂・足立久美子・山本正昭(1994)；キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響，日本水産工学会講演会講演論文集，pp.85-88。
- 5) 町口祐二・山下卓也・伊東公人・谷野賢二(1998)；岩礁性底棲生物の波浪環境下における棲み場の評価，海洋開発論文集，VOL.14，pp.34-40。
- 6) 竹田義則・坪田幸雄・永田晋一郎・袖野宏樹(1999)；自然環境調和型構造物における藻場の流速とウニの食害に関する研究，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.1221-1225。